تاثير سماكة النفق الدائري المقطع على التشوهات النسبية تحت تأثير الأحمال الزلزالية

نجيب نعمان * **مصطفى بطيخة** **إبراهيم حمود**

كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق– سوريا

تاريخ الورود 23 يناير 2013 ، تاريخ القبول 23 مارس 2013

ملخص البحث

تؤدي الشدات الزلزالية إلى أضرار جسيمة في جدران الأنفاق حيث ترتبط هذه الأضرار بعوامل مختلفة كنوع التربة المحيطة بالنفق وشدة الزلزال ودوره وبمواصفات بطانة النفق. تم في هذا البحث دراسة تأثير تغيير سماكه النفق ذي المقطع الدائري على التشوهات الناتجة في النفق تحت تاثير الهزات الأرضية. تمت الدراسة باستخدام النمذجة العددية وطريقة العناصر المحددة (Finite Element Analysis) حيث تم استخدام تحليل لاخطي يأخذ بالاعتبار لاخطية المادة (Materially Non-linear Analysis, MNA) لكل من ماده التربة وجسم النفق. بينت هذه الدراسة أن أخذ التحليل اللامرن لمادة جسم النفق أدى إلى أضرار وتشوهات أكبر، كما بين هذا البحث وجود سماكة حرجة تختلف باختلاف التسارع الأعظمي للزلزال وهذه السماكة تؤدي إلى أضرار وتشوهات أكبر مما لو تم استخدام سماكات مغايرة.

الكلمات المفتاحية : أنفاق- جدران النفق من الخرسانة المسلحة– تحليل لاخطي- أحمال زلزالية.

1. المقدمة

تلعب الأنفاق دوراً هاماً في تطوير المناطق الحضرية من حيث استخدامها لأغراض عدة كالنقل والمواصلات من حيث السيطرة على التدفق المروري، كما يمكن أن تستخدم لخزن المواد ونقل المياه سواء لمشاريع الري الكبيره او لنقل المياه المالحه .

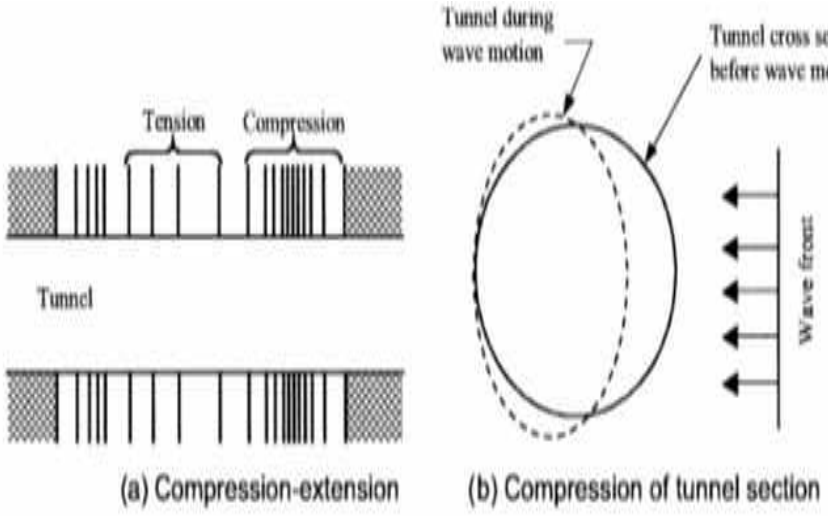
يأخذ المقطع العرضي للنفق أشكالاً عدة كالشكل الدائري ، المستطيل ، شبه المنحرف او نعل الفرس، وقد استخدمت مواد عدة لبناء جسم النفق كالخشب والفولاذ والحجر والخرسانة المسلحة المنفذه بالمكان او المسبق الصنع.

على الرغم من أن الانفاق تعتبر من المنشات الآمنه بالمقارنه مع المنشات السطحية تجاه المخاطر الزلزالية، الا أنها تكون أحيانا عرضة لهذه الاخطار اذا لم تؤخذ التأثيرات الزلزالية بعين الاعتبار عند التصميم، ومن الأمثله على ذلك: زلزال Kanto-Japan عام 1923 والذي بلغت شدته بمقياس ميركالي ((Local magnitude (M=8.16) حيث تسبب بأضرار في 82 نفق سكة حديد من بين 116 في المنطقه التي ضربها الزلازل ، والاضرار هي انهيار في قطاعات المداخل وتشرخ طولي وعرضي بالبطانه وتشظف وتشوهات [1]، زلزال Hyogo-ken Nanbu عام 1995 وكانت شدة الزلزال ((magnitude (Mw=6.9) ولمدة 20 ثانية، وقد أدى الزلزال الى انهيار محطه داكي التحتية في كوبي – اليابان تحت الارض على الرغم أن المحطه تبعد 20كم عن المركز السطحي للزلزال [2]، زلزال Duzce عام 1999 م والذي ضرب تركيا وسبب ضررا شاملا (تكسر البطانه) بنفق Bolu المزدوج تحت الانشاء[3].

تندرج تأثيرات الزلازل على الانفاق ضمن صنفين، الأول ما ينتج من الاهتزاز الارضي (Ground shaking) والثاني ينتج عن الانهيار الارضي (Ground failure). يحدث الاهتزاز الارضي عندما تنتشر الهزة الزلزالية من البؤرة الزلزالية (Earthquake focus) وتمتد في الارض على شكل امواج والتي تنقسم إلى:

- أمواج حجمية (Body waves): تعبر ضمن طبقات الأرض الداخلية وتنقسم الى أمواج ضاغطه (Primary Waves) وأمواج قص (Secondary Waves) كما هو موضح بالشكل (1).
- أمواج سطحية (Surface waves): تتولد نتيجة اصطدام الأمواج الحجمية بسطح الأرض حيث يبدأ هذا السطح بالاهتزاز وتنقسم الى نوعين هما أمواج رايلي (Rayleigh waves) وأمواج لوف (Love Waves) كما هو موضح بالشكل (1).

* Corresponding author.
E-mail address: nagib250@yahoo.com

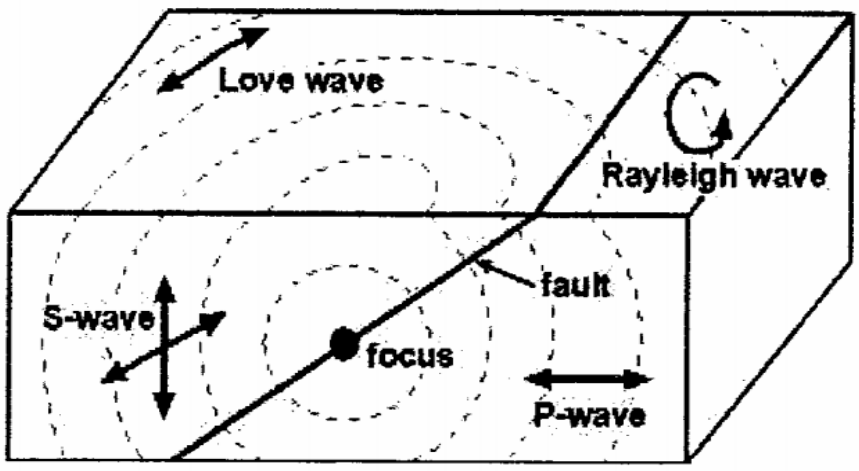


شكل (1): الموجات الحجمية والموجات السطحية [4]

أما الانهيار الارضي فيحدث بسبب احد الانواع التالية من عدم استقرار الأرض مثل التمييع (Liquefaction) أوانتقال الصدع أو ارتفاع أو انخفاض الطبقة التكتونية أو عدم استقرار المنحدرات.

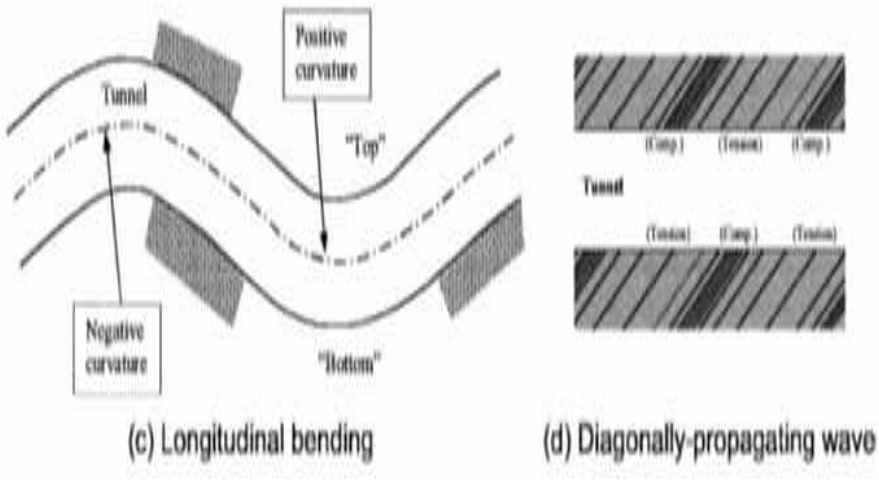
تؤدي الإثارة الزلزالية إلى ثلاثة أنواع رئيسية من التشوهات والتي تعبر عن الاستجابة الديناميكية للمنشات التحتية (الانفاق) بسبب الهزة الزلزالية [5]:

- التشوهات المحورية (Axial deformations): تحدث عندما تنتشر الموجات الزلزالية بشكل موازي إلى محور النفق ، وبالتالي فإن اجهادات القص تنتقل بين الأرض والمنشأ وتسبب قوى ضغط وشد متناوبة (الشكل 2) .



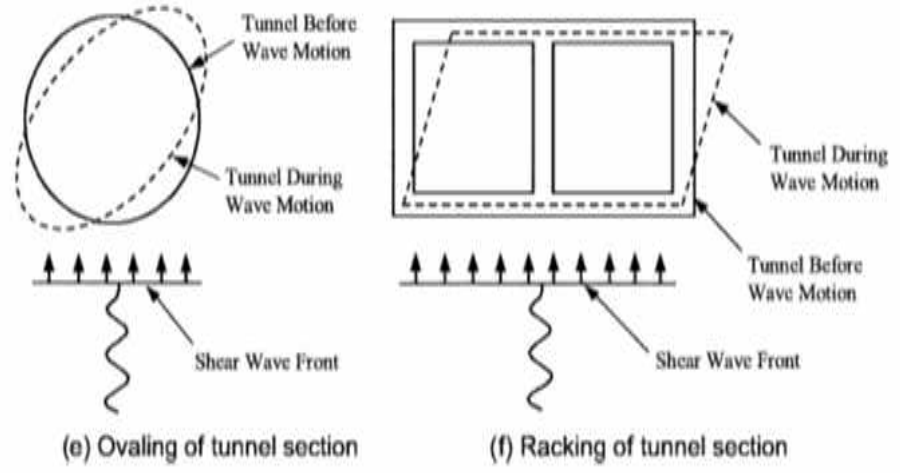
شكل (2): التشوهات المحورية للأنفاق بسبب الموجات الزلزالية [5]

- تشوهات التقوس (Curvature deformations): تحدث عندما تنتشر الموجات الزلزالية بشكل غير مباشر (مائل) (الشكل 3).



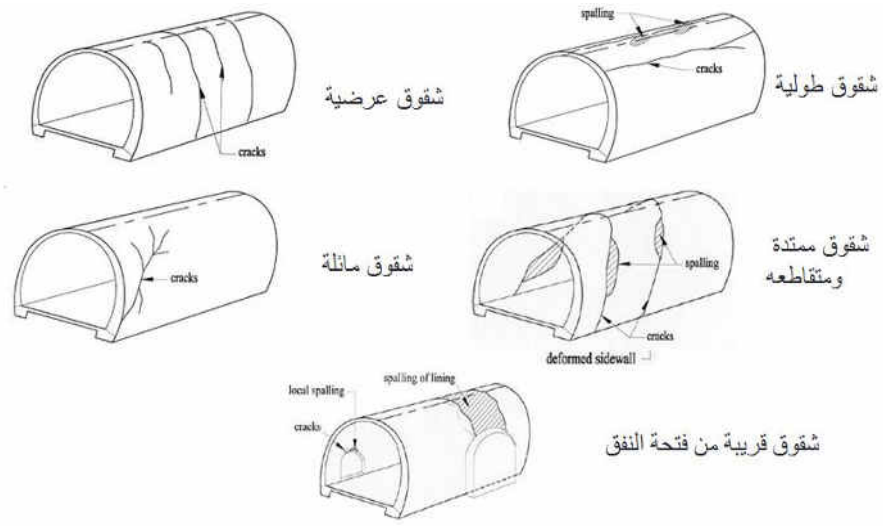
شكل (3): التشوهات التقوس للأنفاق بسبب الموجات الزلزالية [5]

- تشوهات أوفالينج/ راكنج (Ovaling/Racking deformations) : هذه التشوهات ناتجة بسبب موجات القص المنتشرة عموديا أو في وضع تقريبي عمودي إلى محور النفق (الشكل 4)، حيث تحدث تشوهات راكنج في الأنفاق ذات المقطع العرضي المستطيل بينما تحدث تشوهات أوفالينج في الأنفاق ذات المقاطع العرضية الدائرية والتي هي محور الدراسة في هذه المقالة.



شكل (4): تشوهات افالينج وراكنج للأنفاق بسبب الموجات الزلزالية [5]

تؤدي التشوهات الناشئة عن الزلازل إلى تشققات طولية موازية لمحور النفق أو عرضية عمودية على محور النفق أو مائلة كما تحدث الشقوق عادة بالقرب من الفتحات (الشكل 5) [6].



شكل (5): التشققات الناتجة في الأنفاق بسبب الموجات الزلزالية [6]

درس العديد من الباحثيين الأنفاق تحت تأثير الزلازل بالطرق التحليلية والعددية، حيث قام الباحث Wang(1993) [7] باستنتاج معادلات رياضيه لحساب كل من القوه المحورية الاعظمية ($T_{\max}$) وعزم الانعطاف الاعظمي ($M_{\max}$) في بطانه النفق أثناء التحميل الزلزالي واستخدم شرط الانزلاق الكلي (full-slip) بين النفق والتربه :

$$T_{\max} = \pm \frac{1}{6} K_1 \frac{E}{(1+\nu_m)} r\gamma_{\max} \quad (1)$$

$$M_{\max} = \pm \frac{1}{6} K_1 \frac{E}{(1+\nu_m)} r^2\gamma_{\max} \quad (2)$$

$$\gamma_{\max} = \frac{V_S}{C_S} \quad (3)$$

حيث (γ_{max}) تشوه القص الأعظمي للمجال الحر الناتج من الحركة الزلزالية و(V_s) السرعة الأرضيه الأعظمية و(C_s) سرعه موجه القص ، وK_1 معامل استجابة البطانة ويعبر عنه بالمعادله التالية :

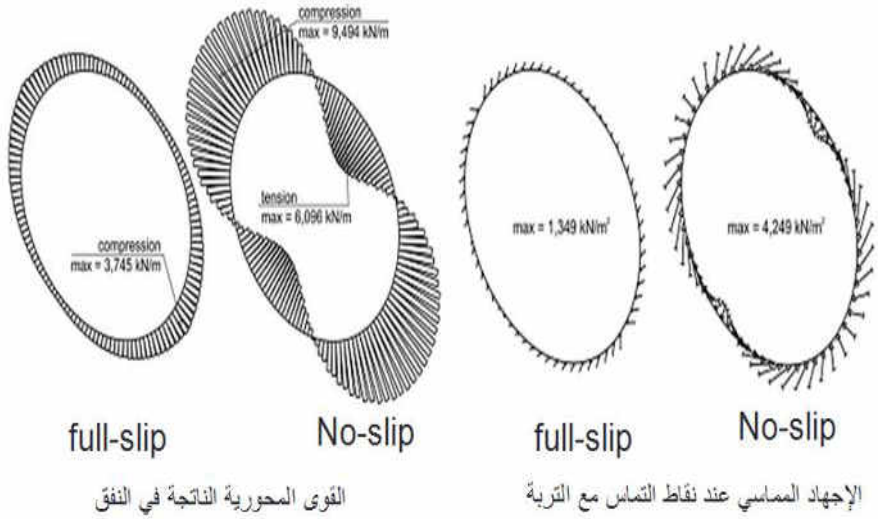
$$K_1 = \frac{12(1-\nu_m)}{2F+5-6\nu_m} \quad (4)$$

حيث F معامل الانحناء (Flexural ratio) للنفق ويعبر عنه بالمعادلة التالية:

$$F = \frac{E_m\left(1-\nu^2\right)r^3}{6EI\left(1+\nu_m\right)} \tag{5}$$

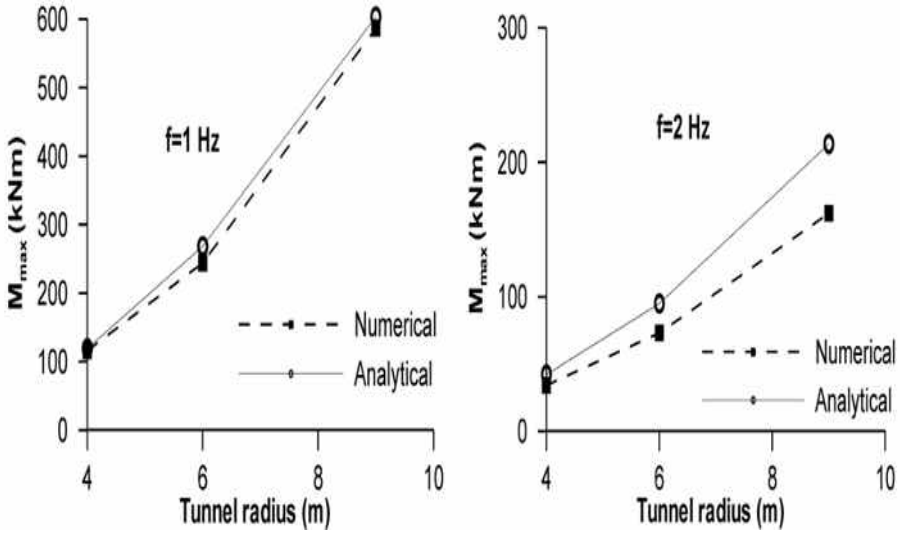
حيث E: معامل المرونة (Modulus of Elasticity) لبطانه النفق و r نصف قطر النفق و t سماكة بطانة النفق، ν_m معامل بواسون (Poisson's ratio) للوسط المحيط و E معامل بواسون لبطانة النفق و I عزم العطالة (Moment of inertia) لبطانة النفق (لكل وحدة عرض)، E_m معامل المرونة للوسط المحيط.

قام الباحثون Sedarat *etal.* (2009) [8] بدراسه نفق دائري محاط بطبقه تربه واستعمال التحليل المرن –الخطي لكل من مادتي النفق والتربه واستخدم طريقتين للربط بين النفق والتربه وهما فرض الانزلاق الكلي (full-slip) و عدم وجود انزلاق (no-slip). يبين الشكل (6) الإجهاد المماسي عند نقاط التماس بين التربة والنفق والقوى المحورية في بطانة النفق، حيث أن اختيار الحالة الأكثر واقعية وهي حالة Full-Slip قد أعطى إجهادات مماسية وقوى أقل عن تلك التي أعطتها الحالة الثانية No-Slip، الأمر الذي يدلل على ضرورة أخذ الانزلاق بعين الاعتبار للاقتراب من الحالة الحقيقية عند التصميم والحصول على تصميم اقتصادي.



شكل (6): الإجهاد المماسي عند نقاط التماس مع التربة والقوى المحورية الناشئه بالنفق [8]

قام الباحثون Giannakou *etal.* (2005) [9] بدراسة نفق دائري وباستخدام التحليل الخطي المرن لكل من مادتي التربة والنفق وبترددين (Frequency) مختلفين للهزة الأرضية f=1HZ وf=2HZ، تم في هذا البحث دراسة تأثير تردد الهزة الزلزالية على القوى الناشئة في بطانة النفق بالإضافة إلى المقارنة بين الحل باستخدام المعادلات التحليلية (Analytical) والنمذجة العددية (Numerical)، حيث يبين الشكل (7) أن التردد الأكبر (f=2HZ) أعطى عزماً أعظمياً أقل في بطانة النفق مع تغير نصف قطر النفق (Tunnel radius) كما ظهر الاختلاف بين كلا الطريقتين التحليلية والعددية في هذه الحالة عما هي حالة التردد الأقل (f=1HZ).



شكل (7): تأثير قيم تردد مختلفة للهزة الأرضية على العزم الأعظمي في بطانة النفق [9]

قام الباحثون (2010) .Shahrour *etal* [10] بدراسة نفق محاط بطبقة تربة واستعمل التحليل الخطي –المرن لمادة النفق والتحليل المرن- اللدن (Elasto-plastic) لطبقة التربة، حيث تبين أن استخدام الحالة الحقيقية للتربة بإدخال المرحلة اللاخطية أعطت عزماً أقل عند كل مقطع من محيط النفق (الشكل 8).

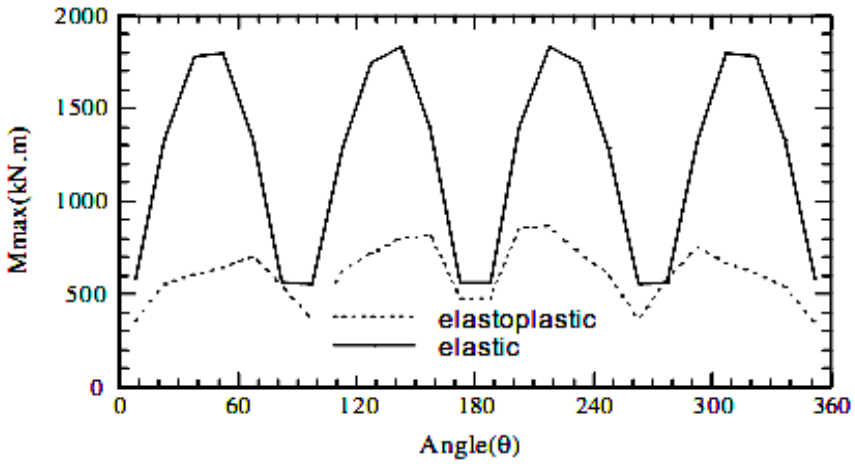
كما درس الباحثان (2011)Asheghabadi and Matinmanesh [11] تأثير نوع التربة على التسارع الأعظمي عند بطانة النفق حيث بين البحث أن وجود تربة رملية كثيفة (Dense sand) أعطى تسارعاً عند بطانة النفق أكبر بكثير عما هو الحال في وجود تربة رملية مفككة (Loose sand).

2. أهمية البحث وأهدافه

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير تغيير سماكة بطانة النفق (Thickness of tunnel lining) على التشوهات النسبية (Strain) الناتجة في مقطع النفق، حيث أن الأبحاث السابقة لم تتناول بشكل كاف هذا التأثير. إن دراسة هذا التأثير سيتم بأخذ الحالة اللامرنة لكل من بطانة النفق والتربة المحيطة بها، بالإضافة إلى أخذ عدم الترابط بين التربة والنفق وهي أمور لم يتم تناولها في العديد من الدراسات السابقة.

3. طريقة البحث

اعتُمدت في هذا البحث الطريقة التحليلية باستخدام طريقة العناصر المحددة (Finite Element Method)، حيث تمت المقارنة مع النتائج العددية التي تمّ التوصّل إليها في أبحاث سابقة. تمّ التحليل باستخدام برنامج (- ABAQUS Ver 6.9) [12] واستُخدم تحليل لا خطّي يأخذ بعين الاعتبار لاخطيّة المادة لكل من بطانه النفق وطبقة التربة.



شكل (8): تاثير نمذجة مادة التربة على عزم الانعطاف المتشكل عند كل مقطع من محيط النفق [10]

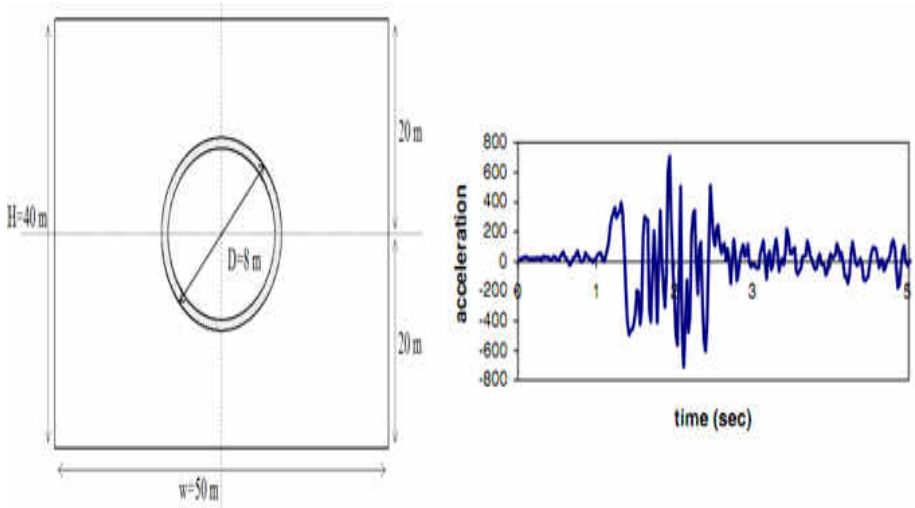
4. التحليل باستخدام نظرية العناصر المحددة

باستخدام البرنامج (ABAQUS -Ver 6.9) تمت نمذجة البطانة والتربة والمدروسة سابقاً في دراسة الباحثان Pakbaz and Yareevand (2005) [13] حيث قطر النفق (D=8m) وسماكته (t=25cm) . تم أخذ نموذج للتربة بعرض w=50m وارتفاع h=40m حيث النفق متوضع في منتصف الارتفاع (الشكل 9) حيث كانت النسبة بين عرض التربة إلى قطر النفق (W/D=6.25) وهي قيمة متوافقة مع نتائج أبحاث سابقة قامت بدراسة تأثير تغيير عرض النموذج ومقارنة النتائج [13] ، وبالتالي لا داعٍ لأخذ عرض أكبر للحصول على اقتصادية في زمن الحل.

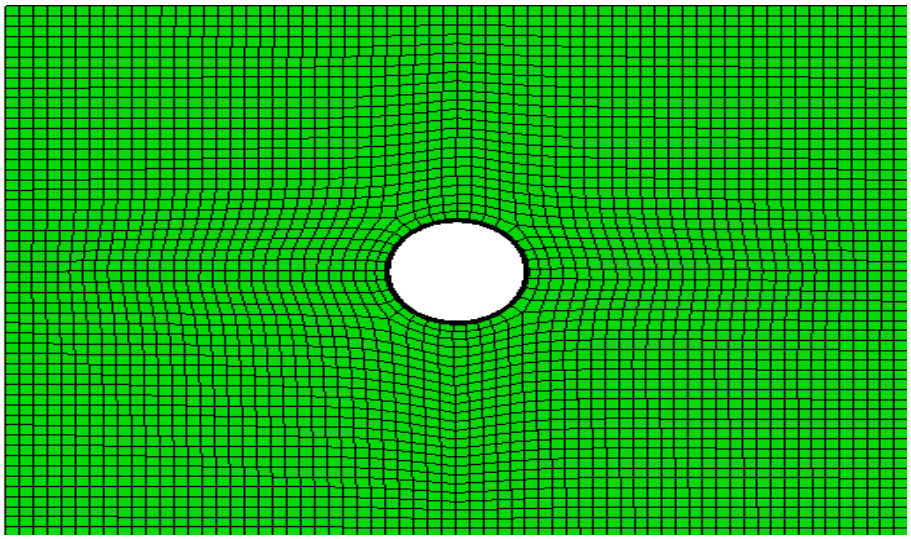
أما فيما يتعلق بالنمذجه الانشائية والشروط الحدّية للنموذج المستخدم تم استُعمل العنصر (CPE4R) في نمذجة البطانة الخرسانية والتربة المحيطة بالنفق, وهو عبارة عن عنصر من نوع Plane strain حيث التشوهات في المستوي, وهو عنصر بأربعة عقد, وكل عقدة لها درجتي حرية (انتقالين فقط), وهذا العنصر ذو عدد مخفّض لنقاط غاوس (Gauss Points). تم استخدام العنصر T2D2 لنمذجة تسليح البطانة وهو عنصر شبكي من عقدتين وكل عقدة تحتوي على درجتي حرية. تم أخذ شروط الاستناد وثاقة تامة لجميع العقد عند قاعده التربه ، أما الحدود الجانبية فقد تم تثبيتها بمسند متدحرج مقيد من الحركه بالاتجاه الشاقولي وحر في الاتجاه الافقي . وطبق على النموذج هزة زلزالية هو السجل الزمني لهزة (Naghan Fars) الموضحة في الشكل (9).

استُخدمت البطانة الخرسانية بمعامل مرونة (Elastic Modulus) E=26GPa ومعامل بواسون (Poisson's ratio) 0.2=_ . وتم استخدام التحليل اللاخطي باعتماد لاخطية المادة، حيث يبين الشكل (10) مخطط الإجهاد- التشوه النسبي (Stress-Strain) لتصرف البطانة الخرسانية (البيتون) على الضغط باستخدام النموذج Concrete Damaged Plasticity(CDP) model [14] ، وقد تم استخدام المنحني الذي يعطيه الكود الأوربي لتصرف الخرسانة [15] ، حيث يبين أن السلوك المرن (Elastic behavior) ينتهي عند القيمة $0.4f_{cm}$ ، حيث f_{cm} هي المقاومة المتوسطه على الضغط (18MPa) ويبدأ معه السلوك اللامرن (Inelastic behavior) حتى انهيار البيتون عند تشوه نسبي (Failure stain) مقداره (0.0035). كما يبين الشكل (10) تصرف البيتون على الشد حيث تم اعتبار مقاومة الشد الأعظمية (1.8MPa) وبعدها تنخفض مقاومة البيتون على الشد حتى خروجه عن العمل عند تشوه نسبي مقداره (0.002) . تمت نمذجه فولاذ التسليح بفرض السلوك المرن- اللدن المثالي (Elastic-Perfectly plastic) و بإجهاد سيلان (Yield stress) f_y=400MPa وتم استخدام نسبة تسليح (0.0025). تمت نمذجه التربة باستخدام معيار الانهيار لمور-كولومب حيث معامل المرونه E=100MPa ومعامل بواسون 0.3=_ وكثافه التربه ($20\ kN/m^3$=_) ومقاومة التماسك

(C=1000KPa) وزاوية الاحتكاك الداخلي (40^o=_) وزاوية الانتفاخ (5=_) ونسبة التخامد الحرج (10%=_) . وتم نمذجه سطح الاتصال (Interface) بين النفق وطبقة التربة باستخدام نظرية كولومب للاحتكاك (Coulomb theory friction) حيث معامل الاحتكاك يعبر عنه بالمعادلة ($\mu = \delta \approx 0.6 \tan\varphi$) [11] ، وحيث أن زاوية الاحتكاك للتربة (40^o=_) فإن معامل الاحتكاك 0.5=μ في حالة الربط full-Slip.

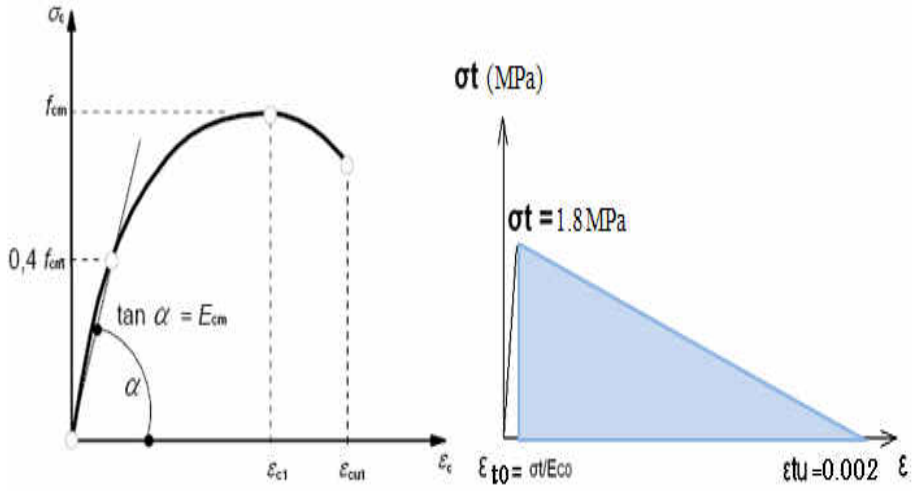


شكل (9): أبعاد النفق والهزة الزلزالية المطبقة [13]



شكل (10): مخططات التشوه-النسبي الإجهاد لحالتي الشد والضغط في البيتون[15]

تمَّت دراسة دقة الشبكة المستخدمة (Mesh Convergence), وذلك للوصول للتقسيم الاقتصادي من حيث زمن التحليل ودقة النتائج معاً. الشكل (11) يبين النموذج المعتمد باستخدام برنامج ABAQUS-ver6.9

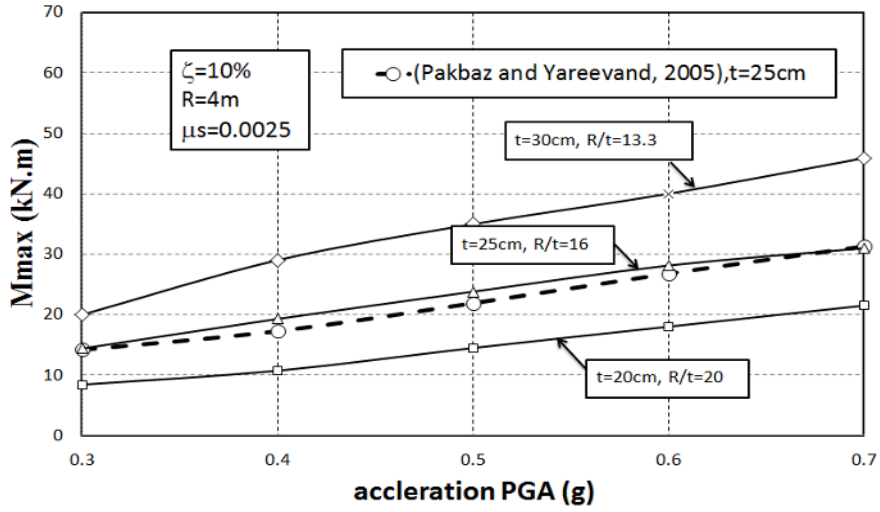


شكل (11): النموذج المعتمد في الدراسة الحالية باستخدام ABAQUS-ver6.9

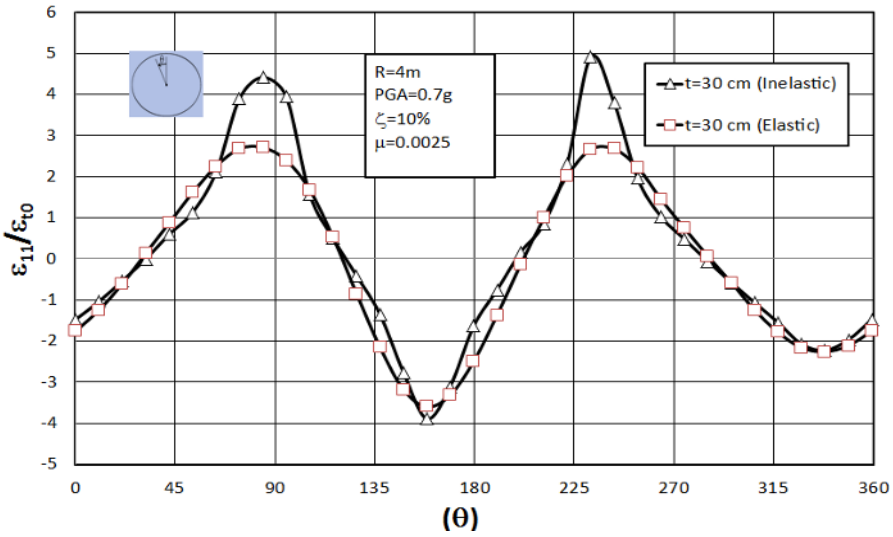
في الشكل (12) تم عرض العلاقة بين التسارع الأعظمي (المحور الأفقي) وعزم الانعطاف الاعظمي الناشئ ببطانه النفق (المحور الشاقولي) للدراسة الحالية مقارنة مع الدراسه التي قام بها Pakbaz and Yareevand (2005) [13] للسماكة t=25 cm، حيث يمكن ملاحظة اقتراب النتائج مابين الدراستين الأمر الذي يدل على صحة النموذج. تم تغيير سماكة بطانة النفق t=20 cm و t=30 cm على نفس المخطط حيث يمكن ملاحظة ارتفاع قيمة العزم بزيادة السماكة كما أن قيمة الزيادة تتناسب بشكل خطي مع التسارع الاعظمي كما أن الفرق بين سماكة وأخرى كان ثابتاً الى حد ما من حيث القيم.

5. النتائج والمناقشة

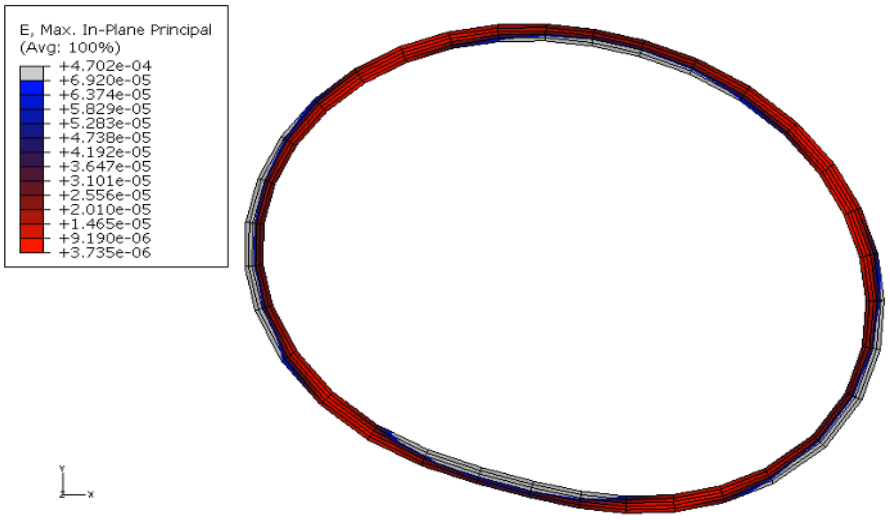
من جهة اخرى ، تمت المقارنة بين أخذ مادة بطانة النفق في الحالة المرنة (Elastic) و الحالة اللامرنة (Inelastic)، والشكل (13) يوضح لنا التشوهات النسبية المحورية (ε_{11} ,Axial strain) الناشئة في النفق عند نقاط الاتصال بين النفق وطبقة التربة على محيط النفق مقارنة مع التشوه النسبي عند إجهاد الشد الأعظمي للبيتون أو بداية التشقق (ε_{to} ، الشكل 10)، حيث أن التشوه النسبي المحوري الأعظمي في منطقة الشد تجاوزت التشوه النسبي عند بداية التشقق ε_{to} بما يقارب 5 مرات، كما يتضح أن التحليليين متقاربيين في منطقه الضغط، بينما أدى التحليل اللامرن إلى زيادة في الإجهادات في منطقة الشد بما يقارب 80%، الأمر الذي يؤكد ضرورة دراسة مادة النفق في الحالة اللامرنة لأنها تؤدي إلى حالة أخطر وانهيار مبكر وهو الأمر الذي تجاهلته معظم الدراسات السابقة. كما أن الشكل (13) يظهر أمر مهم وهو أماكن تشكل المفاصل والتي تعطي ميكانيكية الانهيار (Failure Mechanism) في النفق من نقاط التشوهات الأعظمية، حيث نلاحظ تتشكل أربع مناطق (الشكل 14) وهي باللون الرمادي وهذه المناطق تمثل تجاوز اجهاد الشد الإجهاد الأعظمي على الشد في البيتون ونلاحظ ان المقطع صار معظمه متشققاً عند هذه النقاط كما يمكن ملاحظة أن تشوه النفق تم وفق أفالينج (Ovaling) (الشكل 4).



شكل (12): مخطط التسارع الاعظمي (PGA) – عزم الانعطاف الاعظمي ($M_{max.}$) للنموذج المدروس



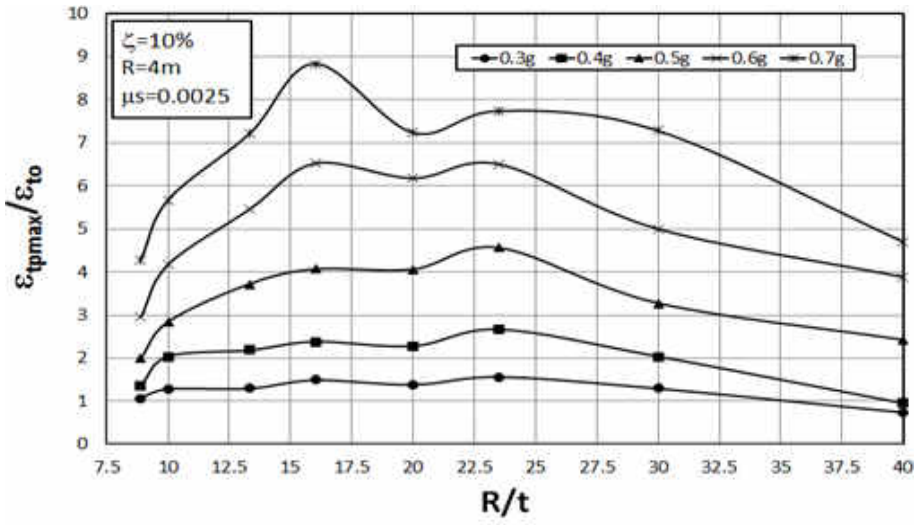
شكل (13): التشوهات النسبية المحورية في بطانه النفق عند نقاط الاتصال مع التربة



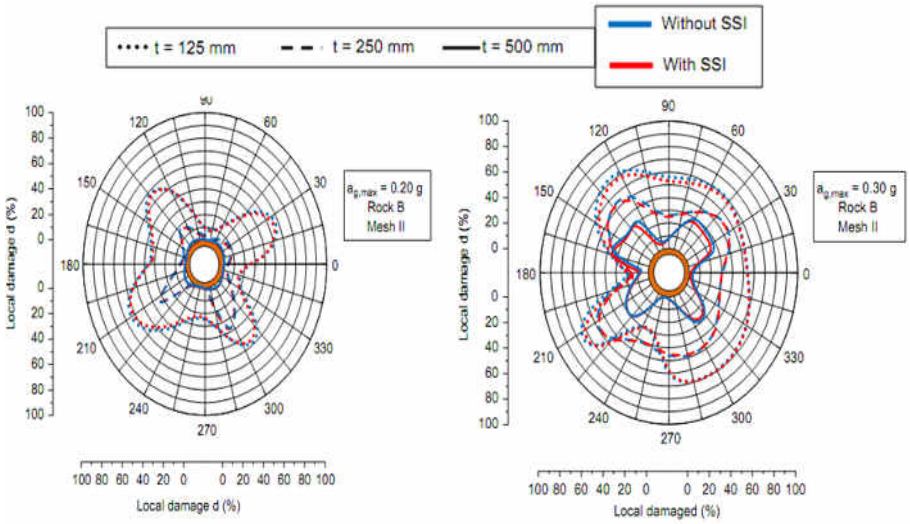
شكل (14): التشوهات النسبية الرئيسية في بطانه النفق

تمت دراسة أثر تغيير سماكة النفق (R=4 m) على التشوهات النسبية الرئيسية (Principal strain) الأعظمية $_{tpmax}$ (الشكل 15) في بطانة النفق ولتسارعات مختلفه مقارنة مع التشوه النسبي للخرسانة عند بداية التشقق ($_{to}$، الشكل 10)، حيث أن التشوهات النسبية الرئيسية الشادة قد تجاوزت $_{to}$ لجميع التسارعات الأعظمية وبنسب تتفاوت وقيمة التسارع الأعظمي، كما يمكن ملاحظة أنه عند السماكه t=25 cm (R/t=16) وتسارع أعظمي 0.7g تم الحصول على أعظم تشوه نسبي أعظمي بالمقارنه مع السماكات الأخرى، وقد تختلف السماكة الأخطر باختلاف التسارع فعلى سبيل المثال فإن التشوه النسبي الرئيسي الأعظمي حدث عند السماكة t=17cm (R/t=23.5) لحالة التسارع الأعظمي (0.5g). إن هذه النتيجة تؤكدها الدراسة التي قام بها الباحثان Hatzigeorgiou and Beskos (2010) [16] كما الشكل (16) والذي يبين تأثير التسارع على نسبة الضرر المحلي (Local damaged %) على محيط النفق حيث أن الضرر عند تسارع 0.3g وزاوية 30^o يتقارب ما بين السماكة 125mm والسماكة 500mm، إلا أن الشكل (15) يبين أن السماكة الأخطر ترتبط بقيمة التسارع الأعظمي للهزة الأرضية.

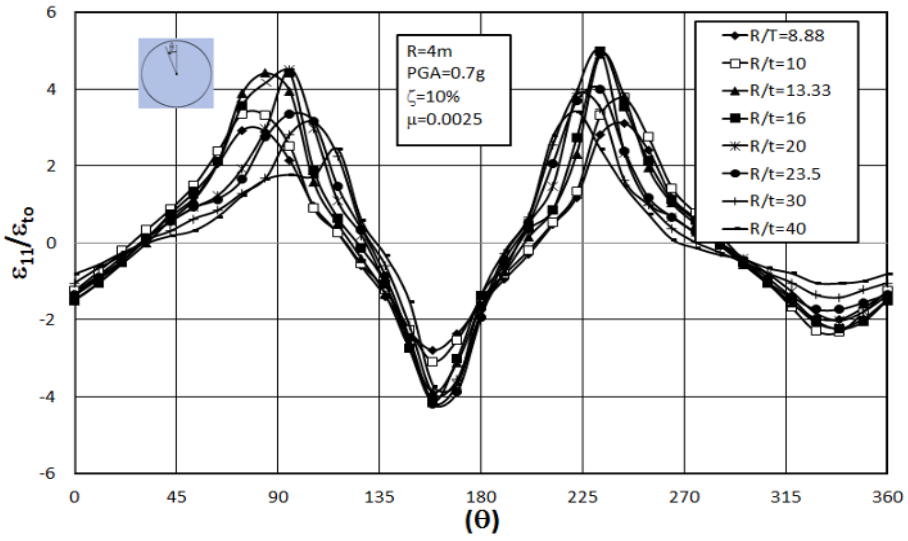
وعند دراسة التشوهات النسبية المحورية ($_{11}$) في النفق عند نقاط الاتصال مع التربة مقارنة مع التشوه النسبي للخرسانة عند بداية التشقق ($_{to}$) وذلك عند مقاطع مختلفة على محيط النفق ($_$) ولحالة تسارع أعظمي 0.7g والتي يبينها الشكل (17). يمكن من الشكل (17) ملاحظة تشكل أربع مناطق عند أربع زوايا مختلفة حيث التشوهات النسبية الشادة والضاغطة أعظمية، كما نلاحظ أن التشوهات النسبية الأعظمية الشادة كانت ضمن مجال [$\sqcup=220^o$, $_=245^o$] لجميع السماكات مع اختلاف القيمة ومكان المقطع باختلاف السماكة، ويظهر الشكل ايضا تاكيدا على وجود قيمة حرجة للسماكة يتم عندها الحصول على القيمة الأعظمية وإن أي زيادة أو نقصان عن تلك القيمة يؤدي إلى انخفاض التشوهات النسبية.



شكل (15): مخطط أثر تغيير النسبة (R/t) على التشوهات النسبية الرئيسية في النفق



شكل (16): نسبة الضرر المحلي وفق السماكة والتسارع الأعظمي للهزة الأرضية [16]



شكل (17): التشوهات النسبية المحورية في بطانة النفق عند نقاط الاتصال مع التربة لسماكات مختلفة

5. الاستنتاجات

تم في هذا البحث دراسة نفق محاط بطبقه تربة على الأحمال الزلزالية من خلال نمذجة عددية باستخدام طريقة العناصر المحددة وتحليل لاخطي يأخذ بالاعتبار لاخطية المادة لكل من مادة النفق والتربه بغية دراسة تأثير تغيير سماكات البطانه الخرسانية على التشوهات النسبية المحورية والرئيسية وبالتالي ميكانيكية الانهيار.

تم التوصُل إلى ضرورة أخذ التحليل اللامرن لكل من التربة والنفق للحصول على الحالة الواقعية لانهيار النفق حيث أن أخذ مادة النفق بالحالة اللامرنة أعطت تشوهات أكبر. كما بينت هذه الدراسة وجود سماكة حرجة تعطي تشوهات أكبر وأن هذه السماكة تختلف باختلاف التسارع الأعظمي للهزة الزلزالية، وأن أي زيادة أو نقصان عن هذه السماكة يؤدي إلى انخفاض التشوهات في النفق.

6. المراجع

[1] Okamoto, S., Tamura, C., Kato, K. and Hamada M. (1973). Behaviors of submerged tunnels during earthquakes, *Proc. of the 5th World Conference on Earthquake Engineering*, Vol. l. Rome, Italy, pp. 544-553.

[2] Uenishi, K, and Sakurai, S. (2000). Characteristics of the vertical seismic waves associated with the l995 Hyogo-Ken Nanbu (Kobe), Japan earthquake estimated from the failure of the Daikai underground station, *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 29, No. 6, pp. 813-821.

[3] Ghasemi, H., Cooper, J. D. Imbsen R., Piskin, H., Inal, F. and Tiras, A. (2000). The November 1999 Duzce earthquake: Post-earthquake investigation of structures on the TEM, Publication no. FHWA-RD-00-146.

[4] Resheidat, M. R. and Hamdaoui, K. (2005). Highlights on earthquakes phenomena, *the International Earthquake Engineering Conference*, Dead sea, Jordan, November.

[5] Hashash, Y. M. A., Hook, J. J., Schmidt, B. and Yao, J: I-C. (2001). Seismic design and analysis of underground structures, *Journal of Tunneling and Underground Space Technology*, Vol. 16, pp. 247-293.

[6] Wang, W. L, Wang, T. T., Su, J. J., Lin, C. H., C R. and Huang T. H. (2001). Tunneling in Taiwan - Assessment of damage in mountain tunnels due to the Taiwan Chi-Chi Earthquake , *Journal of Tunneling and Underground Space Technology*, Vol. 16, pp. 133-150.

[7] Wang, J. N. (1993). Seismic design of tunnels - A simple state-of-the-art design approach, *Monograph 7. Parsons Brinkerhoff One Penn Plaza*, New York.

[8] Sedarat H., Kozak A., Hashash Y.M.A., Shamsabadi A. and Krimotat A., (2009). Contact *interface* in seismic analysis of circular tunnels , *Tunneling and Underground Space Technology,* Vol.24, pp. 482–490.

[9] Giannakou A., Nomikos P., Anastasopoulos I., Sofianos A.,Gazetas G. and Yiouta p., (2005). Seismic behavior of tunnels in soft soil: parametric numerical study and *investigation* on the causes of failure of the Bolu tunnel (Düzce, Turkey, 1999), *underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future, London*.

[10] Shahrour I., Khoshnoudian F., Sadek M. and Mroueh H., (2010). Elastoplastic analysis of the seismic response of tunnels in soft soils, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol.25, pp.478–482.

[11] Asheghabadi M. and Matinmanesh H., (2011). Finite Element Seismic Analysis of Cylindrical Tunnel in Sandy Soils with Consideration of Soil-Tunnel Interaction, Procedia Engineering, 14, pp. 3162–3169.

[12] ABAQUS, Version 6.9-4. ABAQUS/Standard User's Manual. ABAQUS Inc., USA, 2009.

[13] Pakbaz Mohammad C. and Yareevand Akbar, (2005). 2-D analysis of circular tunnel against earthquake loading, *Tunneling and Underground Space Technology*, Vol. 20, pp. 411-417.

[14] KMIECIK P. and KAMIŃSKI M., (2011). Modeling of reinforced concrete structures and composite structures with concrete strength degradation taken into consideration, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. XI, No. 3, pp.623-636.

[15] BS EN 1992-1, (2004). Eurocode2, Design of Concrete Structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings.

[16] Hatzigeorgiou George D., Beskos Dimitri E., (2010). Soil–structure interaction effects on seismic inelastic analysis of 3-D tunnels, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 30, PP.851–861.

N. Nagib [*], B. Mustafa , and H. Ibrahim

Faculty of Structural Engineering, Damascus University, Syria.

ABSTRACT

The earthquake causes serious damage in the tunnel. Many factors control these damages such as soil type, seismic intensity and the properties of the tunnel wall. In this research, the effect of the thickness of the circular section was studied under seismic loads. Finite Element Analysis was used to demonstrate the behavior of tunnel wall using Materially Non-Linear Analysis (MNA) for both the soil and the lining. This research shows that using inelastic analysis for the lining provides higher local damages. Moreover, it is concluded that a critical thickness is related to the intensity of the earthquake. At this critical thickness, earlier collapse can be occurred.

Keywords: Tunnels – RC Tunnel Walls –Non Linear Analysis-Seismic.